

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ณ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหานำไปสู่การค้นคว้าวิจัย	1
1.2 ความสำคัญและหน้าที่ของธาตุซิลิเนียมต่อร่างกาย	3
1.3 ผลจากการที่ร่างกายได้รับปริมาณซิลิเนียมน้อยเกินไป	3
1.4 ผลจากการที่ร่างกายได้รับปริมาณซิลิเนียมมากเกินไป	4
1.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์ซิลิเนียมในสารตัวอย่างโดยเทคนิคต่างๆ	4
1.6 วิธีวิเคราะห์ปริมาณซิลิเนียมในสารตัวอย่างโดยเทคนิคต่างๆ	10
1.6.1 ไฮโดรเจนอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตเมตรี	10
1.6.2 สเปกโทรฟลูออโรเมตรี	17
1.6.3 คัลเลอริเมตรี	18
1.6.4 hydride generation inductively coupled plasma atomic emission spectrometry(HG-ICP-AES)	19
1.7 นมและผลิตภัณฑ์จากนม	20
1.8 วัตถุประสงค์การทดลอง	24
บทที่ 2 การทดลอง	25
2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	25
2.2 สารเคมี	25
2.3 การเก็บตัวอย่างนม	26
2.4 การเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกก่อนวิเคราะห์ ปริมาณซิลิเนียมโดยเทคนิค HG-AAS	26

2.5	การเตรียมสารละลายเคมีที่ใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการย่อยสลายเปียก	28
2.6	วิธีการวัดปริมาณซีลีเนียมในสารละลายตัวอย่างโดยเทคนิค HG-AAS	29
2.6.1	สภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียม	29
2.6.2	วิธีการใช้เครื่อง HG-AAS ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น AA-3100	29
2.7	การหาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกก่อนวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมโดยเทคนิค HG-AAS	30
2.7.1	การทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก	30
2.7.2	การทดลองเปลี่ยนแปลงเวลาในการ incubation ปฏิกริยารีดิวซ์ $\text{Se}(+6)$ ให้เป็น $\text{Se}(+4)$	31
2.7.3	การทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการ incubation ปฏิกริยารีดิวซ์ $\text{Se}(+6)$ ให้เป็น $\text{Se}(+4)$	33
2.7.4	การทดลองวัดอัตราการไหลของสารละลายโซเดียมบอโรไฮไดรด์	33
2.7.5	การทดลองเปลี่ยนแปลงการเติมปริมาตรละลายโซเดียมบอโรไฮไดรด์	34
2.7.6	การทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นละลายโซเดียมบอโรไฮไดรด์	34
2.7.7	การทดลองหาเปอร์เซ็นต์ recovery ของการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการย่อยสลายเปียก	34
2.7.8	การทดลองหาความแม่นยำของการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการย่อยสลายเปียก	35
2.8	การวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมในนมชนิดต่างๆที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกก่อนวิเคราะห์โดยเทคนิค HG-AAS	36
2.9	การเตรียมสารละลายเคมีที่ใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการเผาแห้ง	37
2.10	การเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการเผาแห้งก่อนวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมโดยเทคนิค HG-AAS	38
2.11	การหาสภาวะการทดลองที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีเผาแห้งก่อนวิเคราะห์ปริมาณ	39

ซีลีเนียมโดยเทคนิคHG-AAS	
2.11.1 การทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก	39
2.11.2 การทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารละลายโซเดียมบอโรไฮไดรด์	40
2.11.3 การทดลองหาเปอร์เซ็นต์ recovery ของการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีเผาแห้ง	40
2.11.4 การทดลองหาความแม่นยำในการเตรียมสารตัวอย่างนมด้วยวิธีการเผาแห้ง	41
2.12 การวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมในนมชนิดต่างๆ ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการเผาแห้งก่อนวิเคราะห์โดยเทคนิค HG-AAS	41
บทที่ 3 ผลการทดลอง	42
3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกก่อนวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมโดยเทคนิคHG-AAS	42
3.1.1 ผลการทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก	42
3.1.2 ผลการทดลองเปลี่ยนแปลงเวลาในการ incubation ปฏิกริยารีดิวซ์Se(+6)ให้เป็นSe(+4)	46
3.1.3 ผลการทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการ incubation ปฏิกริยารีดิวซ์Se(+6)ให้เป็นSe(+4)	48
3.1.4 ผลการทดลองวัดอัตราการไหลของสารละลายโซเดียมบอโรไฮไดรด์	50
3.1.5 ผลการทดลองเปลี่ยนแปลงการเติมปริมาตรสารละลายโซเดียมบอโรไฮไดรด์	50
3.1.6 ผลการทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารละลายโซเดียมบอโรไฮไดรด์	53
3.1.7 ผลการทดลองหาความถูกต้อง(accuracy)ของการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการย่อยสลายเปียก	55

3.1.8	ผลการทดลองหาความแม่นยำของการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการย่อยสลายเปียก	59
3.2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ในนมชนิดต่างๆ ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกก่อนวิเคราะห์โดยเทคนิค HG-AAS	61
3.3	การหาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีเผาแห้งก่อนวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์โดยเทคนิค HG-AAS	66
3.3.1	ผลการทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก	66
3.3.2	ผลการทดลองเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์	68
3.3.3	การทดลองหาความถูกต้อง(accuracy) ของการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการเผาแห้ง	70
3.3.4	ผลการทดลองหาความแม่นยำของการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการเผาแห้ง	73
3.4	ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ในนมชนิดต่างๆ ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีเผาแห้งก่อนการวิเคราะห์โดยเทคนิค HG-AAS	75
3.5	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ในนมชนิดแลคโตส	80
3.6	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ในนมชนิดต่างๆ ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	81
3.7	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	86
3.7.1	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ในนมชนิดแลคโตสที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	86
3.7.2	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ในนมชนิดต่างๆ ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	87
3.7.3	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำนมมารดาที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	88

3.8	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟเนียมในนมโคสด กับนมชนิดอื่นๆที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียก	89
3.9	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลไฟเนียมในนมโคสด กับนมชนิดอื่นๆที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการเผาแห้ง	90
3.10	ปริมาณการบริโภคนมที่ควรจะได้รับซัลไฟเนียม ให้เพียงพอต่อร่างกายในแต่ละวัน	91
บทที่ 4	วิจารณ์ สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	92
4.1	วิจารณ์ผลการทดลอง	92
4.2	สรุปผลการทดลอง	110
4.3	ข้อเสนอแนะ	111
เอกสารอ้างอิง		113
ภาคผนวก		116
ประวัติผู้เขียน		119

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ค่าปริมาณซิติเนียมที่ร่างกายต้องการในช่วงอายุต่างๆ	2
1.2 วิธีเตรียมตัวอย่าง detection limit %RSD % recovery ของเทคนิคต่างๆ	9
1.3 การโปรแกรม อุณหภูมิ เวลา ที่ใช้ในการเตรียม ตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียก	27
2.1 การเตรียมสารตัวอย่างสำหรับหาเปอร์เซ็นต์ recovery	35
2.2 การโปรแกรม อุณหภูมิ เวลา ในการเตรียมตัวอย่างด้วย วิธีการเผาแห้ง	38
3.1 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	42
3.2 ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานซิติเนียมเข้มข้น 20 ng/mL	43
3.3 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	44
3.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมจิมิแลคแอควานซ์ เข้มข้น 18.00 ng/mL	45
3.5 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	46
3.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนม จิมิแลคแอควานซ์ เข้มข้น 18.00 ng/mL	47
3.7 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	48
3.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนม จิมิแลคแอควานซ์ เข้มข้น 18.00 ng / mL	49
3.9 ผลการวัดอัตราการไหลของสารละลายโซเดียมบอโรไฮไดรด์	50
3.10 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	51
3.11 ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานซิติเนียมเข้มข้น 20.00 ng/mL	52
3.12 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	53
3.13 ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานซิติเนียมเข้มข้น 20.00 ng/mL	54
3.14 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	55

3.15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในตัวอย่าง standard reference material(SRM)	56
3.16 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	57
3.17 ผลการหาเปอร์เซ็นต์ recovery ของการเตรียม ตัวอย่างนมด้วยวิธีย่อยสลายเปียก	58
3.18 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	59
3.19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมซิมิแลคแอควานซ์	60
3.20 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	61
3.21 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนม โคสด	62
3.22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมปรุงแต่งรส	63
3.23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมใน นมผงสูตรสำหรับทารกและเด็ก	64
3.24 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมถั่วเหลือง	64
3.25 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมมารดา	65
3.26 ผลการวัด peak height ของสารละลายมาตรฐานซิติเนียม	66
3.27 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมซิมิแลคแอควานซ์	67
3.28 ผลการวัด peak height ของสารละลายมาตรฐานซิติเนียม	68
3.29 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในตัวอย่าง สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	69
3.30 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	70
3.31 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในตัวอย่าง standard reference material(SRM)	71
3.32 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	71
3.33 ผลการหาเปอร์เซ็นต์ recovery ของการเตรียม ตัวอย่างนมด้วยวิธีการเผาแห้ง	72
3.34 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	73
3.35 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมซิมิแลคแอควานซ์	74
3.36 ผลการวัด peak height สารละลายมาตรฐานซิติเนียม	75
3.37 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนม โคสด	76
3.38 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมปรุงแต่งรส	77

3.39 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมผงสูตรสำหรับทารกและเด็ก	78
3.40 ผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมถั่วเหลือง	78
3.41 ผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมมารคา	79
3.42 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียม ในนมซิมิแลคแอควานซ์ที่เตรียมตัวอย่าง ด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	80
3.43 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนม โคสด ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	81
3.44 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมปรุงแต่งรส ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	82
3.45 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียม ในนมผงสูตรสำหรับทารกและเด็กที่เตรียมตัวอย่าง ด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	83
3.46 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมถั่วเหลือง ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	84
3.47 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมมารคา ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	85
3.48 การ pair t-test ผลวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียม ในนมซิมิแลคแอควานซ์ที่เตรียมตัวอย่างด้วย วิธีการย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	86
3.49 การ pair t-test ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมชนิดต่างๆ ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	87
3.50 การ pair t-test ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิติเนียมในนมมารคา ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกและการเผาแห้ง	88
3.51 การ pair t-test เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ปริมาณซิติเนียมในนม โคสดกับนมชนิดอื่นๆ ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยสลายเปียก	89
3.52 การ pair t- test เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ ปริมาณซิติเนียมในนม โคสดกับนมชนิดอื่นๆ	90

	ที่เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการเผาแห้ง	
3.53	ปริมาณการบริโภคนมที่ควรจะได้รับซีลีเนียมให้เพียงพอต่อร่างกายในแต่ละวัน	91
4.1	สถานะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกก่อนวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมโดยเทคนิค HG-AAS	96
4.2	สถานะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการเผาแห้งก่อนวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมโดยเทคนิค HG-AAS	101
4.3	สรุปข้อดีข้อด้อยของการเตรียมตัวอย่างนมด้วยวิธีการย่อยสลายเปียกและวิธีการเผาแห้ง	108

สารบัญภาพ

รูป

หน้า

1.1 เครื่องมือHG-AAS ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น AA3100

16

อักษรย่อและสัญลักษณ์

อักษรย่อ		ความหมาย
HG – AAS	=	hydride generation atomic absorption spectrophotometry(ไฮไดรด์เจเนอเรชันอะตอมมิก แอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี)
FI-HG-AAS	=	flow injection hydride generation atomic absorption spectrophotometry
HG-ICP-AES	=	hydride generation inductively coupled plasma atomic emission spectrometry
Se	=	ธาตุซีลีเนียม(selenium)
HCl	=	กรดไฮโดรคลอริก(hydrochloric acid)
HNO ₃	=	กรดไนตริก(nitric acid)
H ₂ SO ₄	=	กรดซัลฟิวริก(sulphuric acid)
HClO ₄	=	กรดเพอร์คลอริก(perchloric acid)
NaBH ₄	=	โซเดียมโบโรไฮไดรด์(sodium borohydride)
mL	=	มิลลิลิตร
g	=	กรัม
ug	=	ไมโครกรัม
ng	=	นาโนกรัม
SD	=	standard deviation
SE	=	standard error
RSD	=	relative standard deviation
CV	=	coefficient of variation
SRM	=	standard reference material